УДК 550.831

***Дубовенко Ю.І., Чорна О.А.**, канд. фіз.-мат. наук, с.н.с.,*
Інститут геофізики НАН України, Київ, dubovenko@igph.kiev.ua

4D гравітаційний моніторинг геологічного середовища – постановка проблеми

В [1, с. 82] зазначено „...якщо сучасні фізико-математичні теорії будують і досліджують свої функціональні зв'язки і наступні смислові ряди на території переважно *простору*, то експеримент зондує поки ще не підвладний теорії *час*". Дані тези мають на меті повідомити, що категорію часу вже опановує, принаймні, геофізична теорія.

Історія проблеми. 4-вимірні короткострокові гравітаційні дослідження започатковані понад 40 років тому з моніторингу геотермальних джерел на півночі Нової Зеландії. Але повномасштабний 4D гравіметричний моніторинг – у вигляді періодично повторюваних неперервних мікрогравіметричних вимірювань гравіполя на протязі фіксованого часового відтинку – розгорнуто на сучасній методологічній базі за допомогою портативних гравіметрів уже в новому тисячолітті (2002) на Алясці [2]. У вказаному спецвипуску наведено рекомендації з інструментарію, методики вимірів, усунення впливу довкілля, обробки даних і способів тлумачення даних, спільних для всіх сфер застосування 4D гравімоніторингу.

Обгрунтування задачі. Фізична основа неперервного гравіметричного моніторингу – неперервний зв'язок динаміки гравіполя та параметрів середовища; зокрема, ундуляції рельєфу сантиметрового діапазону відповідають варіаціям сили тяжіння в кілька мГал. Якщо деформація денного рельєфу певної ділянки є прямим наслідком приповерхневого розподілу мас, то результати тлумачення гравітаційного моніторингу можна задіяти для вивчення флюїдного режиму і моніторингу розущільнення цієї ділянки. Спільні крупномасштабні вимірювання перевищень рельєфу за даними GPS та гравіметрії (сотні стаціонарних пунктів на на сотні км^2) є апаратною основою надійного моніторингу середовища. Здійснювати вимірювання краще за допомогою приладів, що вимірюють абсолютні значення сили тяжіння (гравіметри з відносним обліком сили тяжіння дешевші, та мають істотні обмеження – необхідна прив'язка до опорної мережі і синхронне врахування „сповзання нуля"). Неперервні вимірювання сили тяжіння в свердловинах мають перевагу в роздільній здатності завдяки більшій близькості до джерел та усуненню приповерхневих впливів.

Оцінка глибини до джерела аномалій та зміни об'єму за даними моніторингу деформації рельєфу потребує знань приповерхневого розподілу мас, отриманого за даними гравіметрії. Надійний неперервний моніторинг зміщень і деформацій земної поверхні, в свою чергу, отримують на основі комплексів супутникової геодезії GPS, що мають ряд переваг перед традиційними геодезичними методами (незалежність від часу доби, погоди, автоматичність, неперервність, повнота, надійна прив'язка до мережі). Приповерхневі неоднорідності (карсти, плавуни, дюни, зони обводнення і розущільнення), складні структурні особливості площі (складчатість, соляна тектоніка, розломи), ефекти поглинання корисного сигналу (температура, інструментальні впливи) обмежують ефективність 4D моніторингу, але не знижують його практичного значення. Спрощення аналітичних моделей в процесі інтерпрертації теж може спричинити невірне тлумачення результатів обчислень (геометрії джерел, вертикального і латерального розподілу густинних неоднорідностей), особливо у випадках, коли середовище, яке оточує аномальне джерело, далеке від припущень про однорідність (ізотропність).

Найнадійніші кількісні результати динаміки мас в процесі моніторингу родовищ вуглеводнів отримують у випадку відомої геометрії тяжіючих об'єктів за даними тривимірної сейсмометрії при комплексній інтерпретації даних сили тяжіння та деформацій рельєфу.

Величина часового відтинку залежить від якості вимірювань та міри невизначеності результатів спостережень, а також від характеру динаміки (амплітуди і частоти) поля.

Сфера застосування. Повторювані вимірювання гравітаційного поля знаходять основні застосування в геодезії, сейсмології й вулканології – для комплексного визначення передвісників землетрусів та виверженнь. Ще одна галузь застосувань – моніторинг флюїдної динаміки родовищ та підземних сховищ рідких корисних копалин в процесі їх експлуатації. Наприклад, порівнюючи дані часового гравімоніторингу деякого продуктивного родовища з його аналітичною моделлю дозволяє виявляти відхилення спостереженого поля від моделі видобутку і слугує індикатором подальшого детального вивчення методами ГДС та сейсмометрії. Вирішення просторової прямої задачі гравіметрії, наприклад, за методикою [3], за даними мікрогравіметричного моніторингу не етапі первинного закачування рідин в підземні сховища дозволяє виявити їх розподіл і характер міграції на основі розподілу густин в області дослідження.

Гравітаційний моніторинг міграції CO_2 в родовищах вуглеводнів оснований на тому, що вповадження CO_2 в родовище знижує його об'ємну густину, а просторовий розподіл змін вертикальної похідної V_z потенціалу сили тяжіння прямо корелює з площинним розподілом густин. Часові варіації V_z чітко визначають вертикальні варіації насичення флюїдів. Так, за даними [4], однокілометровий фронт CO_2-флюїду всередині 20 м товщі сольвого пласта на глибині 1900 м за умов 30% насичення CO_2 і 70% насичення сольовим розчином генерує на поверхні гравіаномалію в 10 мГал. Шляхом розв'язання оберненої задачі гравіметрії за даними моніторингу можна відновити загальну картину змін густини (зниження Δg тлумачать як зменшення об'єму вулеводнів внаслідок їх видобутку і опускання газо-нафтового контакту, а збільшення – підняттям рівня пластових вод), але не абсолютні значення густин. Можна виміряти й часові варіації гравіаномалій внаслідок зміни положення водо-нафтового контакту чи рівня пластових вод в свердловинах. Майбутнє 4D гравітаційного моніторингу – неперервні наземні і свердловинні спостереження в „пакеті" геоекологічного моніторингу і експлуатації довкілля.

1. *Лоссовский Е.К.* О философии чистой априорной математики как главного конструктивного опорного раздела современного теоретического естествознания: обзор // Геофіз. журн.– 2006. – **28**, № 2. – С. 80-93; 2. Biegert *E., Ferguson J., Xiong Li*. 4D gravity monitoring – introduction // Geophysics. – 2008. – **73**, No. 6. – P. WA1-WA2; 3. *Старостенко В.И., Легостаева О.В*. Прямая задача гравиметрии для неоднородной произвольно усеченной вертикальной прямоугольной призмы // Физика Земли. – 1998. – № 12. – С. 31-44; 4. *Gasperikova E., Hoversten G.M*. Gravity monitoring of CO_2 movement during sequestration: model studies // Geophysics. – 2008. – **73**, No. 6. – P. WA105-WA112.

Dubovenko Yu.I. **4D gravity monitoring of geological media – a problem formulation.**